干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2019.02.01

新疆冬季气温年际异常的主模态及其成因分析①

陈　颖，　贾孜拉·拜山
（新疆气候中心，新疆　乌鲁木齐　830002）

摘　要： 基于新疆1961—2016年89个观测站冬季平均气温经验正交分解的空间模态，讨论了与各空间模态及其相联系的北半球中高纬度环流特征，结果表明：新疆冬季平均气温的年际异常空间模态分为全区一致类、南北反相类、东西反相类，根据这三类空间模态的正负位相不同分别分为一致偏冷型、一致偏暖型、北冷南暖型、北暖南冷型、东冷西暖型和东暖西冷型等6个空间分布型。新疆冬季平均气温各空间分布型的环流影响因子既表现了极地和中纬度环流相互作用，也有纬圈方向的波列传播的影响。当北半球中纬度西风偏弱，中高纬度环流经向度加大，乌拉尔山地区的高压脊发展和东亚大槽偏深，50°N以南为负高度距平，新疆冬季平均气温一致偏低；反之则一致偏高。北冷南暖型在40°N以北的区域与一致偏冷型的环流特征基本类似，但在中亚至新疆40°N偏南的区域位势高度偏高；北暖南冷型出现时，乌拉尔山负高度距平和东亚大槽偏弱，新疆上空为浅脊控制，新疆南部受脊后的浅槽影响。东冷西暖型和东暖西冷型区别在于中纬度的500 hPa正高度距平中心的位置和700 hPa气流方向。北极涛动（*AO*）、区域西风指数、乌拉尔山关键区因子、欧亚纬向环流指数、西藏高原-1指数、西藏高原-2指数、斯堪的纳维亚遥相关型指数（*SCA*）、亚洲区极涡面积指数等8个气候指数都对新疆冬季平均气温产生了重要的影响。

关 键 词： 冬季气温；纬向环流；乌拉尔山
文章编号： 1000-6060(2019)02-0223-09(0223~0231)

近百年来，随着自然气候波动和人类活动的影响，全球气候正经历一次以变暖为主要特征的显著变化，而我国气温变化趋势与全球气温变化有着趋势上的一致性和突变时间上的区域差异性[1]。冬季是增暖最明显的季节，因而开展冬季气温变化与环流特征的研究有助于理解气候增暖的本质和探索年代际变率的特征及原因。新疆处于欧亚大陆腹地，与受冬季风影响的我国中东部地区相比，冬季气温变化有着截然不同的特征。目前，新疆冬季气温的预测水平仍不能完全满足防灾减灾的需求，对其准确预测是冬季短期气候预测的首要任务之一。因此，深入研究冬季气温的变化趋势及其成因，提高短期预测水平，对于积极防御气温异常带来的灾害具有十分重要的意义。

近百年来，我国不同地区的年平均气温均反映出20世纪20年代初和80年代中期的两次增暖[2]。我国气温变暖情况存在较强的区域性和季节性特征，以北方地区增暖强度最大且在冬季增暖最显著[3]。新疆1961—2010年冬季升温趋势最明显，升温速率达0.45 ℃·$(10\ a)^{-1}$[4]。研究表明，造成我国冬季气温年代际变化的最直接原因是大气环流与海洋海温的脉动和变化[5]。已有的研究表明，冬季气温的异常变化与中高纬度的环流异常紧密联系，如西伯利亚高压、乌拉尔山阻塞高压、东亚冬季风等中高纬度环流异常可使得入侵我国的冷空气活动异常[6-12]，这是导致中国冬季气温异常的直接原因。另有一些大尺度环流系统如北大西洋涛动或北极涛动与中国冬季气温变化也有较好的关系[13-16]。

新疆地域辽阔，东西跨度约1 900 km、南北跨度约1 800 km，“三山夹两盆”的地形使得气候变化也存在着明显的区域差异。即使是2008年1月塔里木盆地出现持续性低温时段[17]、2010年冬季[18]、2011年冬季、2012年冬季连续出现“冷冬”这样的年份，新疆全区也不是完全一致偏冷。在气候变化

① **收稿日期：** 2018-10-09；　**修订日期：** 2019-01-20
基金项目： 中国气象局气候变化专项（CCSF201847）；新疆气象局面上项目（MS201607）资助
作者简介： 陈颖（1977-），女，副研级高级工程师，硕士，研究方向为气候预测. E-mail：meihuazui1206@qq.com

历程中,新疆冬季气温是否也同中国及全球的变化一样,存在着趋势上的一致性和区域上的差异性?新疆冬季气温的一致性或者区域性是否越来越强?不同空间分布特征的影响因子都存在着怎样的变化?本文通过对新疆冬季平均气温的空间分布特征的分析,探讨北半球中高纬度大气环流对新疆冬季平均气温不同空间分布特征的影响,进一步探寻其影响因子的强信号,初步探讨新疆冬季平均气温异常的可能成因,为气候预测提供思路和依据。

1 资料和方法

本文所用的台站资料为1961—2016年新疆区域内资料完整的89个国家观测站的逐日平均气温。文中所用位势高度场、纬向风场和经向风场资料为NCEP提供的1961—2016年2.5°×2.5°的再分析资料,北极涛动(*AO*)指数下载自美国气候预测中心(CPC)网站。

冬季平均为当年12月~次年2月的平均值,气候平均态为1981—2010年的30 a平均值。选用40~70°E,55~60°N范围内位势高度的平均值作为乌拉尔山关键区因子。

区域西风指数计算公式如下:

$$
\begin{aligned}
l &= H_{35} - H_{50} \\
&= \frac{1}{17}\sum_{N=1}^{17} H_n(35°) - \frac{1}{17}\sum_{N=1}^{17} H_n(50°) \\
&= \frac{1}{17}\sum_{N=1}^{17} \Delta H_n \qquad (1)
\end{aligned}
$$

式中:H为500 Pa位势高度,N为格点数,经度范围为30~70°E。文中选用的欧亚纬向环流指数、西藏高原-1指数、西藏高原-2指数、斯堪的纳维亚遥相关型指数(*SCA*)、亚洲区极涡面积指数来自国家气候中心网站提供的百项气候系统指数集。

2 新疆冬季平均气温空间分布型的确定

将1961—2016年新疆各站冬季平均气温进行

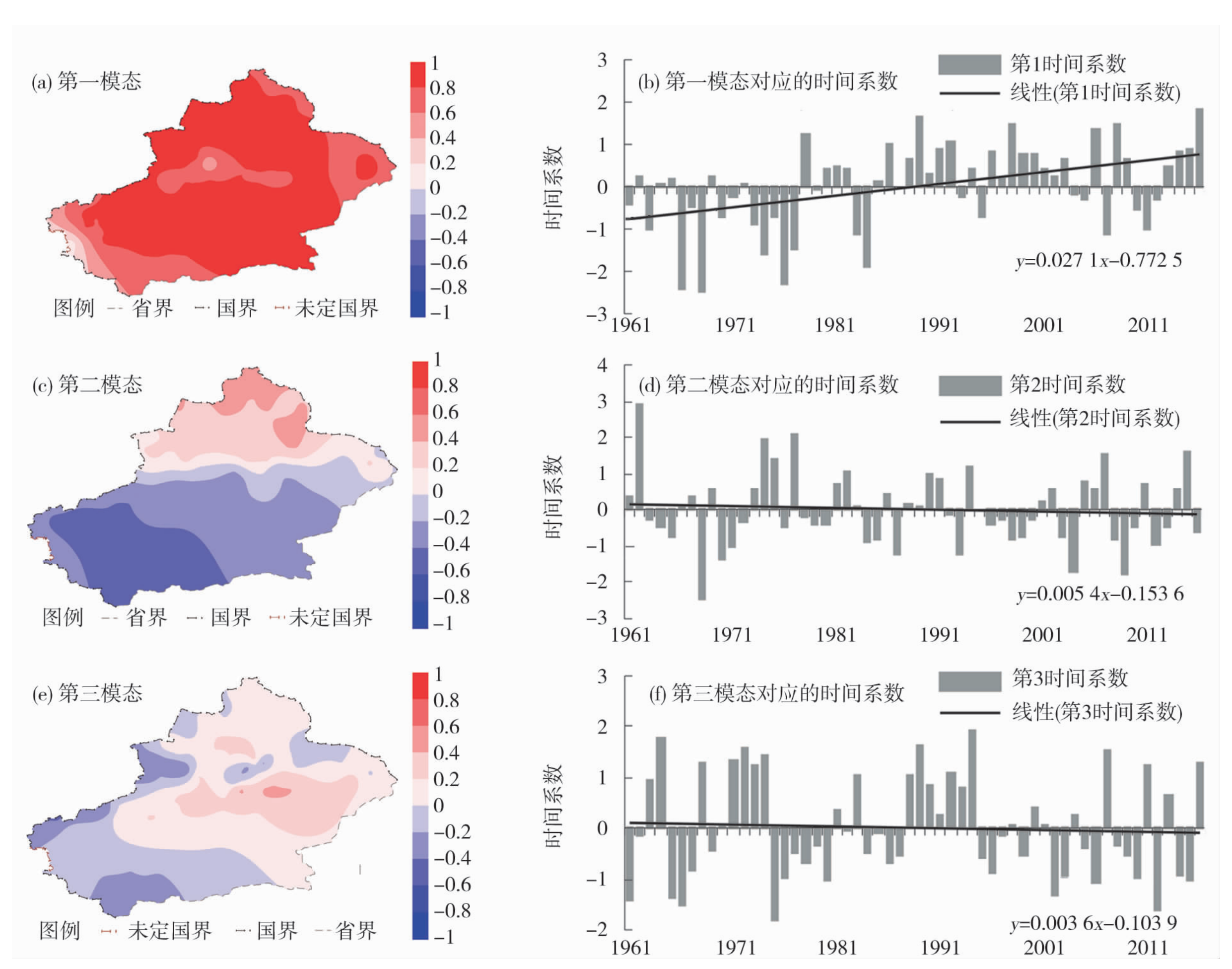


图1 1961—2016年新疆冬季平均气温前3个模态及对应的时间系数

Fig. 1 First three modes and their time coefficients of winter temperature over Xinjiang during 1961 to 2016

表1　新疆冬季平均气温空间型的年份划分

Tab.1　Year division of winter mean temperature spatial types over Xinjiang

空间分布类型		年份
全区一致模态	一致偏暖型	1978,1986,1988,1989,1991,1992,1996,1998,1999,2000,2006,2008,2013,2014,2016
	一致偏冷型	1961,1963,1966,1967,1968,1970,1971,1972,1973,1974,1975,1976,1977,1979,1983,1984,1995,1997,2005,2007,2010,2011
南北反相模态	北暖南冷型	1962,1969,1981,1982,1990,2002,2015
	北冷南暖型	1980,1985,1987,1993,2004,2009,2012
东西反相模态	东暖西冷型	1964,1994,2001
	东冷西暖型	1965,2003

经验正交函数分解(EOF),前3个模态的累积方差贡献率为83.6%,解释方差分别占总方差的68.0%、11.1%、4.5%。第一模态为全疆一致型,从时间系数的变化来看,这种一致变化在1984年之后正位相的分布越来越多。第二模态为南北反相型,近年来越来越多地反映出北低南高的分布形态。第三模态为偏西地区和中东部反相的分布形态,近年来越来越多地反映出西高东低的分布形态(图1)。

将前3个空间模态分别与逐年各站气温距平做符号一致率的统计,选择符号一致率绝对值最大的模态为该年的空间分布型,所得结果与当年实际空间分布做比较,个别年份做调整,即可得到每年的空间分布类型(表1)。根据各空间分布类型的正负位相不同,将全区一致模态细分为一致偏暖型和一致偏冷型,南北反相模态分为北暖南冷型和北冷南暖型,东西反相模态分为东暖西冷型和东冷西暖型[19]。

3　与新疆冬季平均气温空间分布型相联系的环流特征

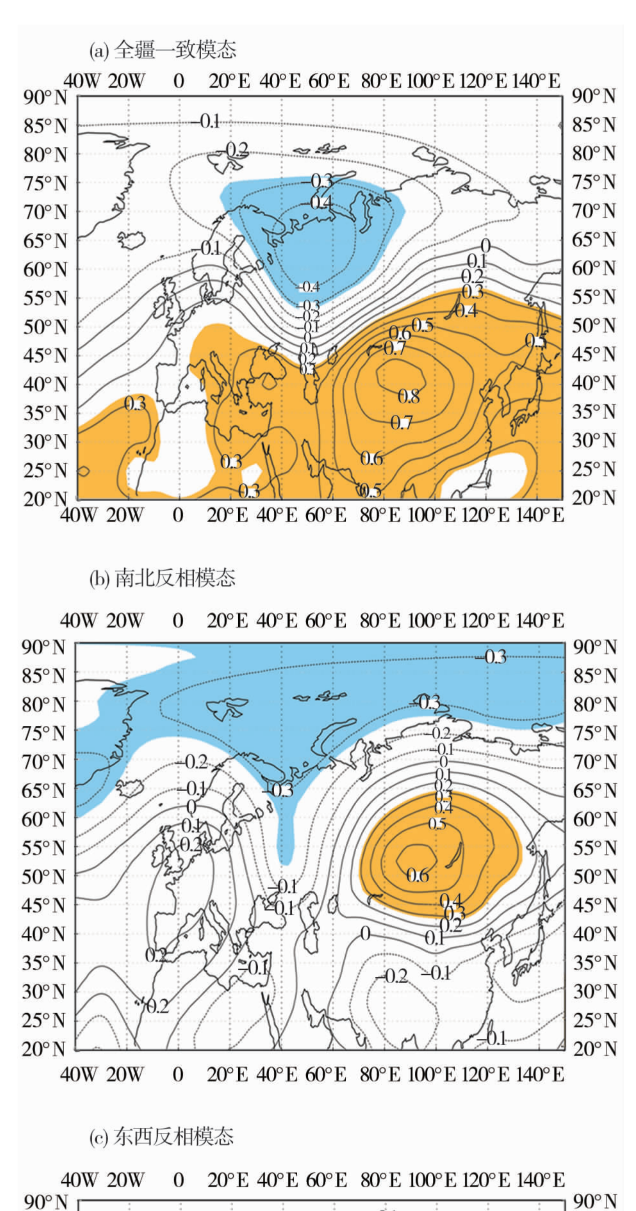
3.1　500 hPa 高度距平场特征

3.1.1　新疆冬季平均气温空间分布模态与500 hPa 高度场的相关关系　通过分析新疆1961—2016年冬季平均气温前三个模态的时间系数分别与500 hPa高度场的相关关系,得到新疆冬季平均气温全区一致模态、南北反相模态和东西反相模态的500 hPa高度场关键影响区(图2)。

全区一致模态与500 hPa高度场的显著负相关区位于斯堪的纳维亚半岛以东至泰米尔半岛以西的55~75°N的范围内,显著正相关区位于东北半球50°N以南的区域,其中心位于乌拉尔山区域(图2a)。南北反相模态与500 hPa高度场的显著负相关区位于东北半球70°N以北的高纬度区域及乌拉尔山西侧区域,显著正相关区位于巴尔喀什湖至贝加尔湖地区的43~65°N区域(图2b)。东西反相模态与500 hPa高度场的显著负相关区位于中亚及其偏南区域,显著正相关区位于欧洲大陆(图2c)。

3.1.2　新疆冬季平均气温空间分布型对应的500 hPa 高度距平场特征　根据表1对新疆冬季平均气温划分的空间分布型,分别做了各分布型对应的500 hPa高度及距平场(图3)。图3a和图3d分别为全疆一致变化模态的负位相(即一致偏冷型)和正位相(即一致偏暖型)对应的500 hPa高度场,二者的环流分布较相似但距平值截然相反。一致偏冷型(图3a)极涡偏向西半球,但东亚大槽偏深;在60~80°N纬圈内为正高度距平,尤其是乌拉尔山地区的正高度距平值较大,且正高度距平在该区域南伸到了50°N,利于该地区出现长波脊或者阻塞高压的形式;而50°N以南的纬圈均为负高度距平,里咸海南侧到我国东北地区的负高度距平值较大。乌拉尔山地区的高压脊发展和东亚大槽的偏深,使得我国中高纬度地区的环流经向度加大,新疆上空的位势高度为负距平,影响新疆的冷空气频繁,全区出现一致偏冷的概率增大。而一致偏暖型(图3d)正好相反。图3a和图3d与AO的负/正位相对应的500 hPa高度距平场的分布特征十分类似。

北冷南暖型的500 hPa高度及距平场(图3b)显示,北极为正距平区,且该正距平区在乌拉尔山区域向南延伸,东亚大槽偏强,巴尔喀什湖以东为广阔的负距平区,新疆北部正位于这个负距平区。中亚南部至40°N以南的区域为正高度距平区,与一致偏冷型相比,影响新疆北部的高度距平场是相似的,



注:色斑为通过显著性水平为0.05的信度检验

图2　1961—2016年新疆冬季气温三类空间分布模态与500 hPa高度场的相关分布图

Fig. 2　Correlation distributions of the first three modes of winter temperature over Xinjiang and the 500 hPa height field during 1961－2016

但中亚南部至40°N以南的区域为正高度距平区,有利于新疆南部区域冬季平均气温偏高。而北暖南冷型的500 hPa高度及距平场(图3e)则显示了相反的特征:里咸海至贝加尔湖以东为正距平区,乌拉尔山为平均槽区,东亚大槽相对偏弱,有利于北暖南冷型的发生。

东冷西暖型和东暖西冷型在500 hPa高度场上最大区别在于前者东亚大槽偏深,中亚至新疆位势高度偏高,为一个平均脊区,这样西高东低的高度场分布也有利于新疆偏西地区冬季平均气温偏高而偏东地区受西北气流输送冷空气东南下影响,气温易于偏低(图3c)。联系前文东西反相型与500 hPa高度场的相关分析(图2c),黑海至咸海500 hPa高度场为负高度距平时,其冷空气从西部入侵,新疆偏西地区位于槽前偏西气流上,冬季气温易于偏低,对应东西反相型的正位相,即东暖西冷型(图3f)。刘毓赟等[20]认为,在欧亚大陆上空存在非常明显的与EU相联系的准定常波的活动,波动活动的辐散区主要位于副热带北大西洋,西伯利亚是主要的辐合区[21]。在大气内部确实有与EU相联系的波列从北大西洋传播到乌拉尔山以东的欧亚大陆地区。东西反相型对应的500 hPa显著正相关区正是反映了中纬度地区这样一种联系。

3.2　新疆冬季平均气温空间分布型对应的700 hPa距平风矢量场特征

新疆冬季平均气温的一致偏冷型的700 hPa距平风矢量在50～70°N的广阔区域为一个反气旋,而在新疆上空为气旋,中纬度西风偏弱,气流的南北输送非常显著(图4a);一致偏暖型则在50～70°N范围内为西风带上的槽脊变化,中纬度西风偏强,在新疆区域无明显南北气流输送(图4d)。北冷南暖型同样表现为中纬度西风偏弱,40°N以北气流的南北交换较大,在新疆北部为气旋式变化,在巴尔喀什湖附近有北风南下,而在新疆南部则盛行西风(图4b);北暖南冷型中纬度气流南北交换较大,西风较弱,在西西伯利亚至新疆北部为反气旋,新疆南部上空为偏北风,中亚南部为一个反气旋式涡旋(图4e)。里海至巴尔喀什湖为反气旋,西西伯利亚的偏北风在(50°N、100°E)附近继续南下,有利于新疆东部的冬季平均气温偏低(图4c);广阔的西西伯利亚至天山山脉为一个反气旋,40～50°N新疆北部为偏东风,在40°N、90°E附近有偏南风,对应东暖西冷型(图4f)。

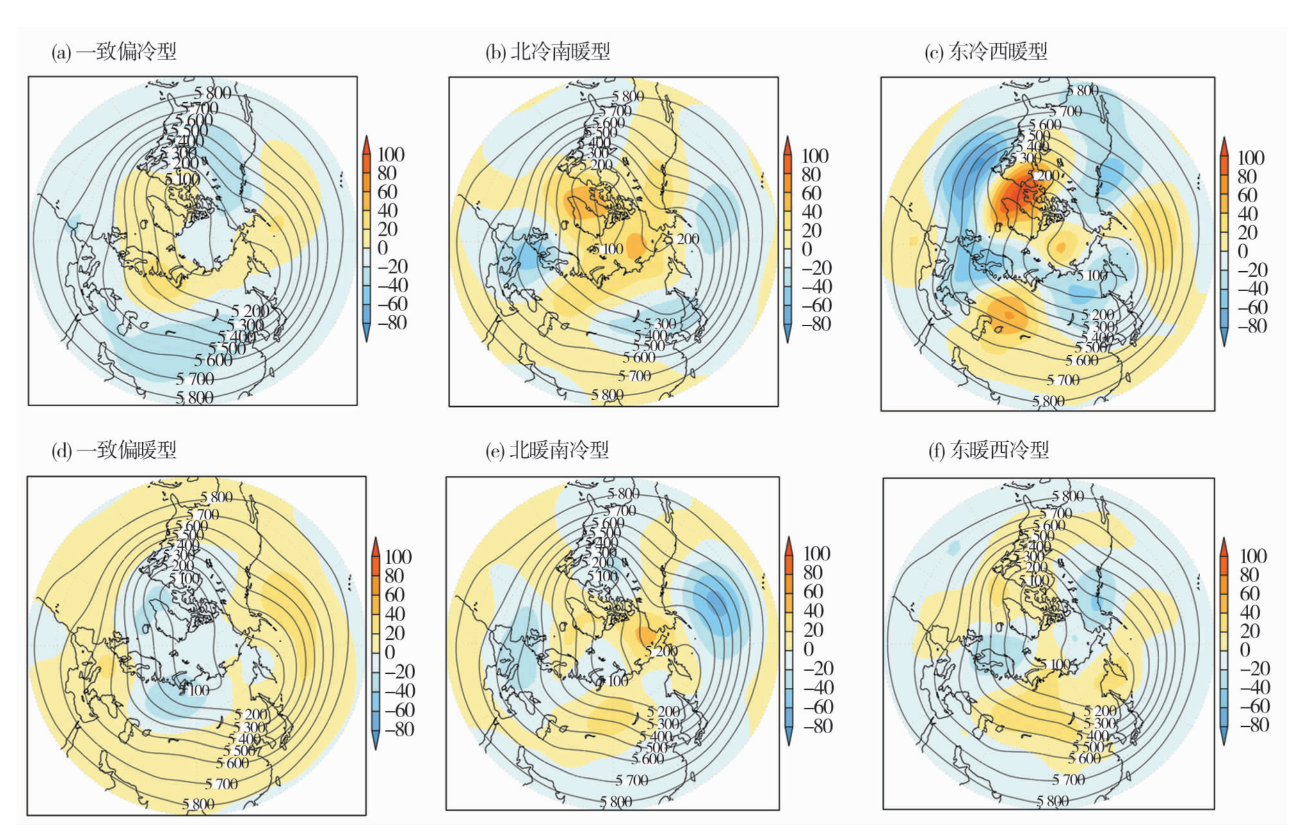
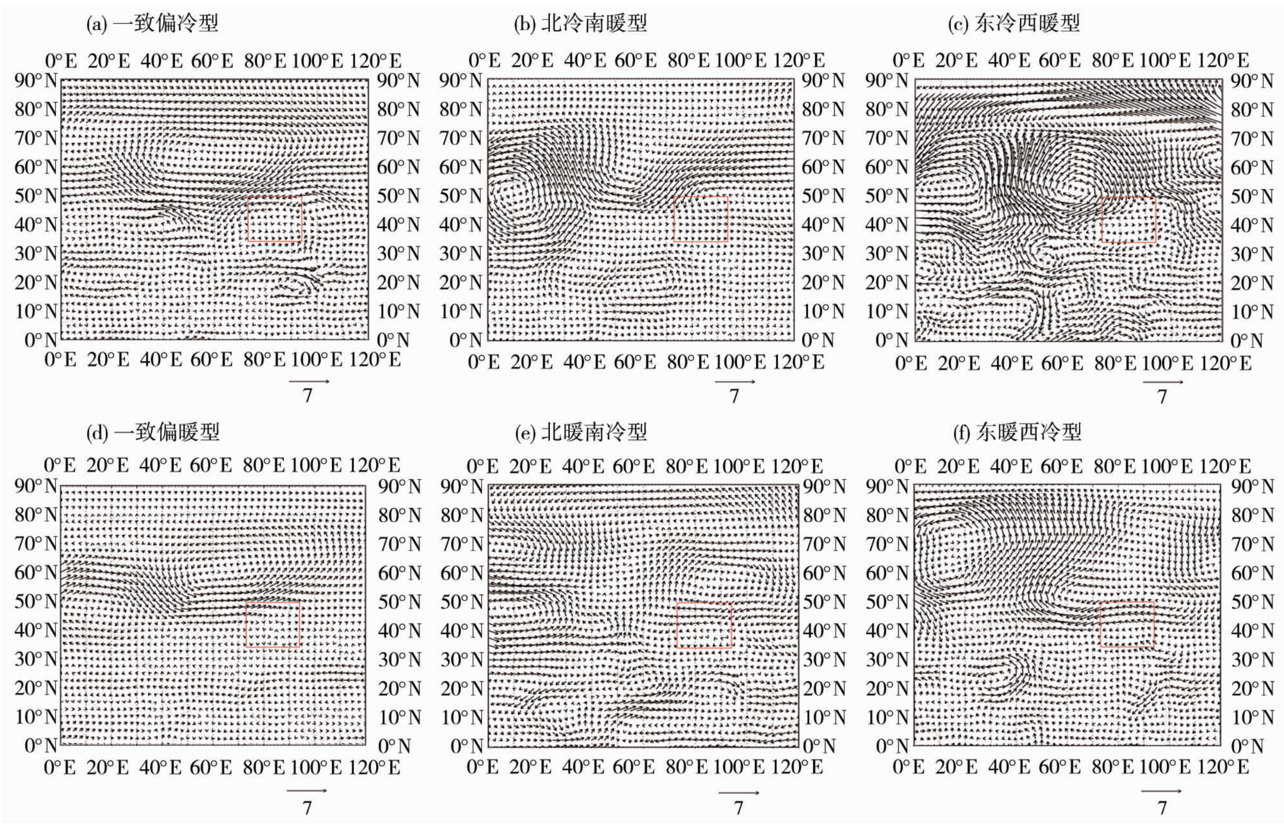


图 3　1961—2016 年新疆冬季气温空间分布型对应的 500 hPa 位势高度距平图

Fig. 3　500 hPa geopotential height anomaly field corresponding to spatial distribution patterns of winter temperature in Xinjiang during 1961 – 2016



注：图中红框位置为新疆区域经纬度范围

图 4　1961—2016 年新疆冬季气温空间分布型对应的 700 hPa 距平风矢量图

Fig. 4　700 hPa anomaly wind vector field corresponding to spatial distribution patterns of winter temperature in Xinjiang during 1961 – 2016

4 新疆冬季平均气温各空间型对应的环流特征量配置关系

新疆位于中纬度,其气候常年受西风带环流影响,具有典型的中纬度西风带气候,也是连接高低纬大气环流、海洋的纽带。因此,影响新疆冬季气温的环流影响因子和区域既表现了极地和中纬度相互作用,也有纬圈方向的波列传播的影响。结合前文环流分析的结果,选取北极涛动(*AO*)、区域西风指数、乌拉尔山关键区因子、欧亚纬向环流指数、西藏高原－1指数、西藏高原－2 指数、斯堪的纳维亚遥相关型指数(*SCA*)、亚洲区极涡面积指数等 8 个反映中高纬度环流影响的气候指数,这些指数与新疆冬季平均气温相关系数超过 $\alpha = 0.01$ 显著性水平。分析它们与新疆冬季平均气温相关系数(表 2 第二列),可以看出,1961—2016 年,*AO* 指数、区域西风指数、欧亚纬向环流指数、西藏高原－1 指数、西藏高原－2 指数与新疆冬季气温呈显著正相关关系,乌拉尔山关键区因子、*SCA*、亚洲区极涡面积指数与新疆冬季平均气温呈显著负相关关系。

分别分析这六种新疆冬季平均气温空间分布型分别对应的 8 个环流特征量的正距平概率,选取正(负)距平概率达到 80% 以上的因子,得出新疆冬季平均气温空间分布型与环流特征量的对应配置关系,如表 2 所示。

综合来看,*AO*指数负位相时,新疆冬季平均气温易出现东西反向变化;区域西风指数正距平对应着新疆冬季气温的一致偏暖,而负距平则有利于东冷西暖型的出现;欧亚纬向环流指数取值在 45 ~ 65°N,其正距平对应着新疆全区的一致偏暖或者北部、西部偏暖;西藏高原－1 指数和西藏高原－2 指数取值范围分别位于 25 ~ 35°N、80 ~ 100°E 区域内和 30 ~ 40°N、75 ~ 105°E 区域内,其正距平对应着新疆西部、南部区域偏暖;乌拉尔山区域位势高度的变化影响着来自高纬度的冷空气向南输送的路径,因此其负距平对应着中高纬度冷空气输送偏弱,新疆冬季平均气温易偏高,其正距平反映了高纬度输送冷空气的频次加大,其脊线的位置则决定了影响新疆北部或者新疆东部;*SCA* 的正距平对新疆全区或者北部气温偏低则较为有利,亚洲区极涡面积指数偏大对新疆冬季平均气温的一致偏低较有利,偏小时则根据极涡的形变不同造成新疆冬季平均气温的东暖西冷型或者东冷西暖型。

表 2 新疆冬季气温各空间分布型对应环流特征量配置关系

Tab. 2 Configuration between spatial distribution patterns of winter temperature in Xinjiang and its circulation characteristic value

	相关系数	一致偏冷型	一致偏暖型	北暖南冷型	北冷南暖型	东暖西冷型	东冷西暖型
AO	0.35			−	−		−
区域西风指数	0.43		+				−
欧亚纬向环流指数	0.64		+	+	−		+
西藏高原－1指数	0.62	−			+		+
西藏高原－2指数	0.74	−	+		+		+
乌拉尔山关键区因子	−0.46		−		+		+
SCA	−0.61	+			+		
亚洲区极涡面积指数	−0.49	+				−	−

5 结 论

本文基于新疆冬季平均气温时空变化特征的分析,结合新疆冬季平均气温的逐年分布特征,划分了新疆冬季平均气温的空间分布类型,总结出影响新疆冬季平均气温的环流因子的变化规律,得出以下基本结论:

(1) 新疆冬季平均气温的空间型分为全区一致模态、南北反相模态、东西反相模态,其中全区一致模态为主要的空间分布类型。根据这三类模态的正负位相不同分别分为一致偏冷型、一致偏暖型、北冷南暖型、北暖南冷型、东冷西暖型和东暖西冷型等 6 种空间分布型。

(2) 当北半球中纬度西风偏弱,中高纬度环流经向度加大,乌拉尔山地区的高压脊发展和东亚大槽偏深,50°N 以南为负高度距平区,新疆冬季平均气温一致偏低的可能性较大。相反,当中纬度西风偏强,欧亚中高纬度环流经向度较小,乌拉尔山区域为负高度距平,50°N 以南为正高度距平区,新疆冬季平均气温一致偏高的可能性较大。

北冷南暖型在 40°N 以北的区域与一致偏冷型的环流特征基本类似,但中亚至新疆 40°N 偏南的区域位势高度偏高时,新疆南部冬季平均气温易于偏高。而北暖南冷型对应乌拉尔山负高度距平和东亚大槽偏弱,40°N 以北的环流经向度较小,新疆上

空为浅脊控制,影响新疆北部的冷空气偏弱;而新疆南部受脊后的浅槽影响冷空气活动较频繁。

东冷西暖型和东暖西冷型区别就在于中纬度的 500 hPa 正高度距平中心的位置和 700 hPa 气流方向,中纬度的 500 hPa 正高度距平中心位于咸海北侧且延伸至低纬度区域、700 hPa 里海至巴尔喀什湖为反气旋,则为西暖;500 hPa 正高度距平区无明显中心,且局限于中亚以东 40°N 以北,700 hPa 西西伯利亚至天山山脉为一个反气旋,40°N、90°E 附近有偏南风对应东暖。

(3) 新疆冬季平均气温空间分布型的环流特征既表现了极地和中纬度地区之间的相互作用,也有纬圈方向的波列传播的影响。北极涛动(*AO*)、区域西风指数、乌拉尔山关键区因子、欧亚纬向环流指数、西藏高原-1 指数、西藏高原-2 指数、斯堪的纳维亚遥相关型指数(*SCA*)、亚洲区极涡面积指数等 8 个气候指数都对新疆冬季平均气温变化都具有明显指示意义。其中,*AO* 指数的正负位相和亚洲区极涡面积指数的大小不同易造成新疆冬季平均气温区域性变化,其绝对值越大,优势影响越明显;西藏高原-1 指数和西藏高原-2 指数偏高时,新疆南部冬季平均气温易偏高;乌拉尔山关键区因子、*SCA* 指数偏大时,新疆北部气温易偏低;欧亚纬向环流指数、区域西风指数偏大时,新疆西部、北部等大部分区域冬季平均气温易偏高。

本文在分析新疆冬季平均气温的空间分布型及其环流特征的基础上,给出了各空间分布型对应的关键区影响因子和区域气候模态的配置关系,但对这些影响因子对新疆冬季平均气温的不同区域的影响没有做进一步的分析,如乌拉尔山高度场正距平的中心位置、强度、极涡面积、强度等的不同形变特征对新疆冬季平均气温的影响;选取的环流因子涉及北半球区域模态及与新疆相关联的西风带关键区环流,对于不同尺度的区域模态和环流因子之间的关系和影响还没有做物理机制上的研究;随着气候变化进程的发展,影响因子和新疆冬季气温之间的关系也在响应着气候变暖,气候背景的转换对这种关系的影响程度如何,这些内容还需要今后更加细致的工作进行深入的研究。

参考文献(References)

[1] 丁一汇,任国玉,赵宗慈,等. 中国气候变化的检测及预估[J]. 沙漠与绿洲气象,2007,1(1):1-10. [DING Yihui, REN Guoyu, ZHAO Zongci, et al. Detection, attribution and projection of climate over China[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2007, 1(1):1-10.]

[2] 王绍武,叶瑾琳,龚道溢,等. 近百年中国气温序列的建立. 应用气象学报,1998,9(4):392-401. [WANG Shaowu, YE Jinlin, GONG Daoyi, et al. Constrction of mean annual temperature series for the last one hundred years in China[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 1998, 9(4):392-401.]

[3] 陈隆勋,邵永宁,张清芬,等. 近四十年我国气候变化的初步分析. 应用气象学报,1991,2(2):164-174. [CHEN Longxun, SHAO Yongning, ZHANG Qingfen, et al. Preliminary analysis of climateic change during the last 39 years in China[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 1991, 2(2):164-174.]

[4] 《新疆区域气候变化评估报告》编写委员会. 新疆区域气候变化评估报告决策者摘要及执行摘要 2012[M]. 北京:气象出版社,2013. [Xinjiang Regional Climate Change Assessment Report Compilation Committee. Xinjiang regional climate change assessment report summary for policymakers and executive summary 2012[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2013.]

[5] 丁一汇. 全球气候变化中的物理问题[J]. 物理,2009,38(2):71-83. [DING Yihui. Physical problems in the global climate change[J]. Physics, 2009, 38(2):71-83.]

[6] 侯亚红,杨修群,李刚. 冬季西伯利亚高压变化特征及其与中国气温的关系[J]. 气象科技,2007,35(5):646-650. [HOU Yahong, YANG Xiuqun, LI Gang. Variation features of siberian high and relation with winter temperature in China[J]. Meteorological Science and Technology, 2007, 35(5):646-650.]

[7] 季明霞,黄建平,王绍武,等. 冬季中高纬地区阻塞高压活动及其气候影响[J]. 高原气象,2008,27(2):415-421. [JI Mingxia, HUANG Jianping, WANG Shaowu, et al. Winter blocking episodes and impact on climate over East Asia[J]. Plateau Meteorology, 2008, 27(2):415-421.]

[8] 龚道溢,王绍武. 西伯利亚高压的长期变化及全球变暖可能影响的研究[J]. 地理学报,1999,54(2):125-133. [GONG Daoyi, WANG SHaowu. Long-term variability of the siberian high and the possible connection to global warming[J]. Acta Geographica Sinica, 1999, 54(2):125-133.]

[9] HUANG Ronghui, CHEN Jilong, HUANG Gang. Characteristics and variations of the East Asian monsoon system and its impacts on climate disasters in China[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2007, 24(2):993-1023.

[10] 郭其蕴. 东亚冬季风的变化与中国气温异常的关系[J]. 应用气象学报,1994,5(2):218-225. [GUO Qiyun. Relationship between the variations of East Asian winter monsoon and temperature anomalies in China[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 1994, 5(2):218-225.]

[11] 丁一汇,柳艳菊,梁苏洁,等. 东亚冬季风的年代际变化及其与全球气候变化的可能联系[J]. 气象学报,2014,72(5):935-852. [DING Yihui, LIU Yanju, LIANG Sujie, et al. Inerdecadal variability of the East Asian winter monsoon and its possible links

to global climate change[J]. Acta Meteorologica Sinica,2014,72(5):835－852.]

[12] 龚道溢,王绍武. 冬季西风环流指数的变率及其与北半球温度变化的关系研究[J]. 热带气象学报,2002,18(2):104－110. [GONG Daoyi,WANG Shaowu. Variability of the winter zonal index and its association with the northern hemispheric temperature changes[J]. Journal of Tropical Meteorology,2002,18(2):104－110.]

[13] 武炳义,黄荣辉. 冬季北大西洋涛动极端异常变化与东亚冬季风[J]. 大气科学,1999,23(6):641－651. [WU Bingyi, HUANG Ronghui. Effects of the extremes in the North Atlantic oscillation on East Asia winter monsoon[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,1999,23(6):641－651.]

[14] 龚道溢,王绍武. 近百年北极涛动对中国冬季气候的影响[J]. 地理学报,2003,58(4):559－568.[GONG Daoyi,WANG Shaowu. Influence of Arctic oscillation on winter climate over China [J]. Acta Geographica Sinica,2003,58(4):559－568.]

[15] 林振敏,施能. 北半球冬季大气环流遥相关型特征与我国区域气候[J]. 气象科技,2004,32(5):333－337. [LIN Zhenmin, SHI Neng. Characteristics of winter atmospheric teleconnection patterns in northern hemisphere and their effects on climate in China [J]. Meteorological Science and Technology,2004,32(5):333－337.]

[16] 陈文,康丽华. 北极涛动与东亚冬季气候在年际尺度上的联系:准定常行星波的作用[J]. 大气科学,2006,30(5):863－870. [CHEN Wen,KANG Lihua. Linkage between the arctic oscillation and winter climate over East Asia on the interannual timescale:Roles of quasi-stationary planetary waves[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,2006,30(5):863－870.]

[17] 陈颖,李元鹏,辛渝,等. 2008 年初塔里木盆地低温阴雪过程的气候特征及影响[J]. 沙漠与绿洲气象,2008,2(6):12－15. [CHEN Ying,LI Yuanpeng,XIN Yu,et al. Characters and impacts of low temperature and cloudy-snow process over Tarim Basin in early 2008[J]. Desert and Oasis Meteorology,2008,2(6):12－15.]

[18] 陈颖,江远安,毛炜峄,等. 气候变化背景下新疆北部 2009—2010 年冬季雪灾[J]. 气候变化研究进展,2011,7(2):104－109. [CHEN Ying,JIANG Yuan'an,MAO Weiyi,et al. 2009－2010 winter snow disaster in northern Xinjiang under global warming[J]. Advances in Climate Change Research,2011,7(2):104－109.]

[19] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,1999. [WEI Fengying. Diagnotic and predictive technology in modern climatologic statistics[M]. Beijing: China Meteorological Press,1999.]

[20] 刘毓赟,陈文. 北半球冬季欧亚遥相关型的变化特征及其对我国气候的影响[J]. 大气科学,2012,36(2):423－432. [LIU Yuyun,CHEN Wen. Variability of Eurasian teleconnection pattern in the northern hemisphere winter and its influences on the climate in China[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,2012,36(2):423－432.]

[21] 徐婷,邵华,张弛. 近 32 a 中亚地区气温时空格局分析[J]. 干旱区地理,2015,38(1):25－35. [XU Ting,SHAO Hua,ZHANG Chi. Temporal pattern analysis of air temperature change in Central Asia during 1980－2011[J]. Arid Land Geography,2015,38(1):25－35.]

Annual winter temperature variation and its causes in Xinjiang

CHEN Ying, BAIshan jiazila

(*Xinjiang Climate Center*, *Urumqi* 830002, *Xinjiang*, *China*)

Abstract: Based on the observed temperature data at 89 meteorological stations and the NCEP-NCAR re-analysis data during the period from 1961 to 2016, this study investigates three major modes of winter temperature over Xinjiang, China through empirical orthogonal function (EOF) method, and the characteristics of associated mid-high latitudes atmospheric circulation in the Northern Hemisphere. It can provide ideas and basis for climate prediction to discuss the possible causes of the abnormal winter temperature in Xinjiang. It reveals that the three major spatial modes of winter temperature in Xinjiang, which include the provincially consistent mode, anticlastic mode between the south and the north and anticlastic mode between the west and the east, could be divided further into 6 spatial distribution patterns as follows the uniformly relative cold (or warm) pattern, North being cold (or warm) and South being warm (or cold) pattern, and East being cold (or warm) and West being warm (or cold) pattern. Further analysis indicates that the atmospheric circulation impact factors on the distribution of the winter average temperature in Xinjiang included the polar and mid-latitude circulation interactions and the wave transmission from the latitude circles. The consistent cold (warm) pattern of winter temperature in Xinjiang was associated with the weak-

ening (strengthening) west wind from the middle latitude in the northern hemisphere, and the strengthening (weakening) longitude circulation in the high latitude, the high pressure ridge development in the Ural Mountains, the deepening East Asia trough the East Asian Trough, the anomaly of negative height in south of 50°N. The difference between the pattern of cold East and warm West and the pattern of warm East and cold West lies in the mid-latitude 500 hPa positive anomaly center and the 700 hPa wind direction. The pattern of cold north and warm south is similar to the circulation feature of the consistent cold pattern in the northern region of 40°N, but higher in the southern region of 40°N from Central Asia to Xinjiang. The pattern of warm North and cold South pattern was associated with the weakening of Ural anomaly and the East Asian Deep Trough, and the control of shallow trough over Xinjiang and the impact of the shallow trough after the ridge in southern Xinjiang. This study revealed the indirect but important influencing factors on winter temperature in Xinjiang from 8 circulation indexes. The difference of the positive and negative phases of the *AO* index and the area index of the polar vortex in Asia can easily cause the regional variation of the average temperature in winter in Xinjiang, and the greater the absolute value, the more obvious the influence of dominance. When the Tibet Plateau -1 index and the Tibet Plateau -2 index are high, the winter mean temperature in southern Xinjiang tends to be higher. When the *SCA* index of the key area of Ural Mountains is large, the temperature in the north Xinjiang is easy to be low. When the Eurasian zonal circulation index and the regional westerly index are larger, the winter mean temperature in the western and northern regions of Xinjiang is apt to be higher.

Key words: winter temperature; zonal circulation; Ural Mountain